



ỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM
HỌC VÀ TRUNG HỌC CHUYÊN NGHIỆP

TRƯỜNG ĐẠI HỌC XÂY DỰNG

PHẠM KHẮC HÙNG

**XÁC ĐỊNH ĐỘ TIN CẬY CỦA CÔNG TRÌNH
DẠNG HỆ THANH TRỰC GIAO CHỊU TÁC DỤNG
ĐỘNG CỦA TẢI TRỌNG NGẪU NHIÊN**

Ngành chuyên môn 1902: Cơ học kết cấu

BẢN TÓM TẮT NỘI DUNG LUẬN ÁN

Bảo vệ học vị Phó tiến sĩ Khoa học Kỹ thuật

Hà Nội — 1977

Công trình này được hoàn thành tại *Bộ môn Cơ học
Kết cấu Trường đại học Xây dựng Hà-Nội*

Những người nhận xét luận án :

1. Tiến sĩ toán lý *Nguyễn-văn-Đạo*
2. Phó tiến sĩ khoa học kỹ thuật *Nguyễn-văn-Bào*

Cơ quan nhận xét :

Phòng Cơ học Viện Khoa học Việt-Nam

Bản tóm tắt nội dung luận án đã được gửi đi

Ngày.tháng.năm 1977.

Thời gian bảo vệ luận án trước hội đồng chấm luận
án nhà nước. . . .giờ. . . .ngày. . . .tháng. . . .năm 1977.
tại.

Có thể tìm đọc luận án tại :

1. Thư viện Trường đại học Xây dựng
2. Phòng thí nghiệm công trình Trường đại học Xây
dựng ở nhà C₃ trong khu vực Trường đại học Bách khoa
Hà Nội

PHẠM KHẮC HÙNG

**XÁC ĐỊNH ĐỘ TIN CẬY CỦA CÔNG TRÌNH
DẠNG HỆ THANH TRỰC GIAO CHỊU TÁC DỤNG
ĐỘNG CỦA TẢI TRỌNG NGẪU NHIÊN**

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100

L 142t

Hà Nội — 1977

Xu thế hiện nay trên thế giới và nhất là ở nước ta sau chiến tranh, ngày càng chú trọng xây dựng các công trình cao. Ở Liên Xô, trong kế hoạch 5 năm lần thứ 10 (1976 — 1980) đang xây dựng thêm nhiều nhà ở với số lượng tăng tối ưu về kinh tế và tiện nghi (kết luận rút ra từ lý thuyết và thực tế xây dựng của nước bạn) là từ 9 — 16 tầng, một số trường hợp lên tới 20 — 30 tầng. Quy phạm của Liên Xô cũng quy định đối với các nhà cao từ 10 tầng trở lên, phải kể đến tác dụng của áp lực mạch động vận tốc gió. Hiện nay đối với các công trình cao, chủ yếu vẫn sử dụng cách tính theo quan điểm tĩnh, trong đó có kể đến tác dụng động của tải trọng gió dưới hình thức mảy hoặc hình thức khác. Các cách tính trên chưa phản ánh được sát sự làm việc của công trình cao dưới tác dụng của gió, mang tính chất ngẫu nhiên rõ rệt.

Trong khi đó, lý thuyết xác suất và thống kê toán học, đặc biệt là lý thuyết các quá trình ngẫu nhiên, đã và đang thâm nhập mạnh mẽ vào mọi ngành khoa học và kỹ thuật: vô tuyến điện, thông tin, điều khiển tự động vật lý học, cơ học, sinh vật học... Một loạt các ngành mới được hình thành như vật lý thống kê, sinh học thống kê... Trong lĩnh vực cơ học kết cấu cũng hình thành một phần mới: cơ học kết cấu (CHKC) thống kê bao gồm các phương pháp động lực thống kê (ĐFTK) và lý thuyết về độ tin cậy các công trình. Trong phần mới

này, các chuyên gia về CHKC trên thế giới đã bỏ nhiều công sức để xây dựng từ các khái niệm, định nghĩa, đến các phương pháp nghiên cứu về mặt lý thuyết. Đến nay, các khái niệm cơ bản, cũng như các phương pháp nghiên cứu cơ bản đã được hình thành và ngày càng được bổ sung, phát triển với tốc độ nhanh. Tuy nhiên, việc chuyển các kết quả nghiên cứu lý thuyết đó vào thực tế tính toán và thiết kế công trình hãy còn ít.

Nội dung bản luận văn này được xây dựng trên cơ sở vận dụng các thành tựu hiện có về CHKC thống kê để giải quyết tương đối hoàn chỉnh (về mục tiêu nghiên cứu : dẫn đến kết quả cuối cùng có thể sử dụng trong tính toán thiết kế thực tế) một lớp bài toán thường gặp trong thực tế xây dựng cơ bản : tính các công trình cao chịu tác dụng động của áp lực gió.

Sơ đồ tính : coi tải trọng là quá trình ngẫu nhiên dừng và chuẩn, kết cấu là hệ thanh trục giao (bài toán phẳng) - sơ đồ chung cho các loại công trình cao dạng tháp, trụ, khung nhà cao tầng.

Bài toán này được chọn xuất phát từ suy nghĩ về thực tế nước ta, với nhu cầu trong tương lai sẽ được xây dựng nhiều công trình cao (tháp, trụ - vô tuyến điện, vô tuyến truyền hình, tải điện vượt sông, đỡ ống thải khí...), như nghị quyết đại hội lần thứ IV của Đảng Cộng Sản Việt Nam đã chỉ rõ : « Tăng nhanh năng lực xây dựng cơ bản ; đẩy mạnh công tác khoa học, kỹ thuật chuẩn bị về mọi mặt để triển khai xây dựng lớn trong những kế hoạch dài hạn sau này » (Trích Báo cáo chính trị của BCH TƯ Đảng tại Đại hội IV. Nhà xuất bản Sự Thật Hà-Nội — 1977 ;

trang 72). Nước ta là nước ở ven biển, có nhiều gió bão, nên việc nghiên cứu tác dụng của gió (một loại tải trọng ngang) lên công trình — nhất là công trình cao (công trình càng cao, tải trọng ngang có ảnh hưởng càng lớn đến kích thước, do vậy, đến khối lượng vật liệu xây dựng công trình) là cần thiết, để đảm bảo khả năng làm việc lâu bền của công trình, đồng thời cũng mở ra triển vọng đem lại hiệu quả kinh tế trong việc xây dựng các công trình đó. Hiện nay, ở ta chưa có đầy đủ các tài liệu thống kê về gió để phục vụ cho việc tính toán công trình cao theo mô hình xác suất. Tài liệu đo đạc khí tượng của các nước ngoài cho thấy có thể coi tải trọng gió trên công trình cao là quá trình ngẫu nhiên dừng và phân phối chuẩn. Chắc chắn áp lực gió ở nước ta có những đặc điểm riêng biệt, khác với mọi nước; tuy nhiên, trong điều kiện hiện nay còn thiếu thiếu về tài liệu, các kết quả thống kê của các nước khác cũng là các tài liệu cần thiết để tham khảo trong khi nghiên cứu tính toán công trình.

Bản luận văn này gồm 6 chương.

Chương I — là phần tổng quan tóm tắt về quá trình phát triển và các thành tựu của thế giới về sử dụng các phương pháp của lý thuyết xác suất và thống kê toán học vào lĩnh vực tính toán công trình. Trong đó, có điểm qua các thành tựu khoa học nổi tiếng của viện sĩ thông tấn VHLKH Liên-Xô V.V. Bôlôchin, của các giáo sư tiến sĩ A.R. Rzanhixun N.X. Xtreltxki, A.P. Xinhixun, A.A. Triras (Liên-Xô), W. Weibull, A.I. Johnson, J.W. Miles, G.A. Corbell, Dean C. Karnopp, Stephen H. Crandall, J. Murzewski... về các vấn đề chung của CHKC thống kê,

cũng như các vấn đề cụ thể như thống kê về bên, phá hoại môi, dao động ngẫu nhiên của công trình, độ tin cậy của kết cấu...

Ở Việt Nam, có các công trình nghiên cứu của phó tiến sĩ KHKT Nguyễn Văn Tuyên (ổn định của kết cấu có kể tới sự sai lệch ngẫu nhiên về sơ đồ hình học và hệ số nền), của phó tiến sĩ KHKT Nguyễn Văn Bào (phổ của sóng biển và ảnh hưởng của nó đến các công trình cảng, ổn định động ngẫu nhiên của dè chắn sóng),...

Sau đó, có nêu mô hình tổng quát của bài toán CHKC thống kê, cùng với các phương pháp cơ bản của động lực thống kê cũng như lý thuyết tin cậy của công trình.

Chương II — Nêu những cơ sở để chọn và tập bài toán được nghiên cứu trong bản luận văn. Mở đầu chương, đã đi qua các thành tựu nghiên cứu về tác dụng của gió lên công trình của các tác giả B.G.Kôrenhép, L.M.Reznicép, V.X. Gvôzdéc, G.V Parkinson, C. Cruton, M.I. Kazakévich, D.I. Kazakévich, V.K. Êgupốp....; trong đó đặc biệt nhấn mạnh đến các kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của gió theo quan điểm thống kê lên các công trình cao của M.F. Barstein và A.G. Davenport. Về phương pháp ma trận chuyển tiếp — công cụ chủ yếu được chọn dùng để xác định các hàm chuyển phản lực trong quá trình giải bài toán — đã đi qua các tài liệu của K.K. Pônômarép, V.A. Ivôvich, D.M. Gery và J.A. Calgaro, R.Kersten. Bài toán được chọn: «Xác định độ tin cậy của công trình dạng hệ thanh phẳng trực giao, chịu tác dụng động của tải trọng ngẫu nhiên dừng và chuẩn, nằm trong mặt phẳng của hệ». Ở đây cũng nêu ra

các giả thiết ban đầu, nhằm hạn chế bài toán trong khuôn khổ của hệ tuyến tính dừng, có thể chấp nhận được trong tính toán thực tế. Các phương pháp cơ bản được chọn sử dụng trong quá trình giải bài toán: phương pháp động lực thống kê — phương pháp phân tích phổ của lý thuyết tương quan, phương pháp của lý thuyết tin cậy — phương pháp của viện sĩ thông tấn V.V. Bolòchin, kết hợp với lý thuyết « chờ » của các quá trình ngẫu nhiên, phương pháp của CHKC — phương pháp ma trận chuyển tiếp. Khi lập bài toán, có kể ảnh hưởng của ma sát trong đền dao động ngẫu nhiên theo phương pháp của giáo sư tiến sĩ Liền-Xô E.X. Xôrôkin. Để tiện cho việc tính toán sau này, đã đưa ra hai loại *cấu kiện cơ bản*. Các hệ thanh trục giao được coi là tập hợp của các cấu kiện này. Cuối chương, đã thiết lập phương trình cơ bản mô tả dao động ngẫu nhiên của hệ, trong đó có kể ảnh hưởng của lực dọc (do tải trọng tĩnh) đến mômen, và kể ảnh hưởng của biến dạng trượt đến chuyển vị:

$$L_j y_j = (1 + i\nu_j) E J_j \frac{\delta^4 y_j}{\delta x^4} + (1 + i\nu_j) N_j \frac{\delta^2 y_j}{\delta x^2} + m_j \frac{\delta^2 y_j}{\delta t^2} - m_j \bar{\gamma}_j E J_j \frac{\delta^4 y_j}{\delta t^2 \delta x^2} = q_j^* \quad (1)$$

(j = 1, n)

Chương III — Nghiên cứu cách tính tổng quát để xác định các đặc trưng xác suất của quá trình ra (chuyển vị, nội lực) của hệ. Phương pháp chủ yếu là dựa vào lý thuyết tương quan để xét trực tiếp trên phương trình đạo hàm riêng (1). Nội dung chính tập trung vào việc xây dựng các hàm chuyển phản lực. Nhận xét đặc điểm

về mặt kết cấu: hệ có dạng « dài » kéo dài, được lặp lại nhiều lần một cách đơn điệu một bộ phận của hệ; bộ phận này đối với mỗi cấu kiện cơ bản gọi là một *phần tử* (gồm một đoạn liên tục — nhịp, và một điểm gián đoạn), đối với hệ thanh trục giao gọi là một *siêu phần tử* (gồm một tập hợp đoạn liên tục — siêu nhịp, và một đường gián đoạn). Trên cơ sở nhận xét này, đã chọn thuật toán thích hợp của phương pháp ma trận chuyển tiếp để xác định các hàm chuyển. Dạng tổng quát của ma trận hàm chuyển phản lực (chuyển vị, nội lực) của hệ thanh trục giao đã lập được:

$$\Phi_{z_j}^*(i\omega) = Z_j = \overset{*}{L}_j \overset{*}{Z}_{j-1} + \overset{*}{T}_j \overset{*}{B}_{q_j} + \overset{*}{B}_{p_j} \quad (2)$$

$$(j = \overline{1, n})$$

Các ma trận chuyển tiếp của siêu phần tử ($\overset{*}{L}_j = \overset{*}{T}_j \overset{*}{A}_j$) được xây dựng trong trường hợp tổng quát: liên kết nút mềm. Kết quả này dẫn đến các trường hợp riêng: liên kết nút cứng, liên kết khớp, khung lệch tầng. Ma

trận chuyển tiếp của đường gián đoạn ($\overset{*}{T}_j$) là ma trận ba đường chéo khối, ma trận chuyển tiếp của siêu nhịp

($\overset{*}{A}_j$) là ma trận đường chéo khối. Thuật toán dẫn đến hệ phương trình đại số tuyến tính với số ẩn là $2(n+1)$, khi tính khung có n nhịp và số tầng bất kỳ. Các hàm chuyển (2) là các hàm chuyển tính theo E.X. Xô rô kin. Do phương trình (1) chỉ chứa các đạo hàm bậc chẵn theo biến t , nên các hàm (2) không còn chứa số ảo i trong tích $(i\omega)$, mà chỉ còn chứa các tích $i\omega$. Ở đây, đã sử dụng hàm chuyển tính toán, có giá trị bằng mô đun

của hàm chuyển (2) tính theo Xôrôkin. Trong các phép tính tiếp theo để xác định các đặc trưng xác suất của quá trình ra, đã sử dụng các hàm chuyển tính toán này.

Chương IV — Xây dựng cách tính thực hành để giải bài toán động lực thống kê được thuận tiện hơn. Cách tính này dựa trên cơ sở biểu diễn nghiệm của phương trình (1) dưới dạng chuỗi các hàm riêng:

$$y(x,t) = \sum_{r=1}^{\infty} y_r(x) f_r(t). \quad (3)$$

Dạng nghiệm này cho phép chuyển bài toán (1) thành hai bài toán: bài toán thứ nhất — bài toán bờ thuần nhất (bài toán xác định các hàm riêng và các trị riêng tương ứng), bài toán thứ hai — bài toán xác định các tọa độ suy rộng của dao động ngẫu nhiên. Đã sử dụng thuật toán của phương pháp ma trận chuyển tiếp ở trên để giải bài toán thứ nhất. Bài toán thứ hai có dạng như với bài toán của hệ một bậc tự do lập theo giả thiết phức của Xôrôkin, với biểu thức hàm chuyển có sẵn khá đơn giản. Ma trận hàm chuyển phản lực tính theo Xôrôkin có dạng suy từ (3)

$$\Phi_{z_j}^*(i\omega) = Z_j^* = \sum_{r=1}^{\infty} Z_{jr}^* \Phi_{fr}(i\omega) \quad (4)$$

Từ các công thức tổng quát để xác định các đặc trưng xác suất ở chương III, đã lập các công thức cụ thể để tính các ma trận mật độ phổ, phương sai và kỳ vọng toán của chuyển vị và nội lực tại mọi điểm của hệ. Các công thức này cho phép tính bằng số khá thuận tiện. Do sử

dụng nghiệm dạng (3) nên tính chất « bộ lọc » của hệ dao động ngẫu nhiên — cho đi qua chủ yếu các tần số lân cận tần số dao động riêng — được thể hiện rõ qua hàm chuyển phản lực (4) và ở các đặc trưng xác suất của quá trình ra.

Chương V — đề cập đến vấn đề xác định độ tin cậy của hệ chịu tải trọng ngẫu nhiên dừng và chuẩn, dựa trên phương pháp xây dựng không gian chất lượng và mặt giới hạn của V.V. Bôlôchin, trong đó sử dụng rộng rãi lý thuyết chồi của các quá trình ngẫu nhiên. Đã đưa ra hai mặt giới hạn dựa theo hai trạng thái giới hạn (có ý nghĩa vật lý khác nhau): Trạng thái giới hạn thứ nhất — về độ bền, độ cứng của công trình, xác định miền cho phép Q_1 , mặt giới hạn G_1 thuộc không gian chất lượng V , trạng thái giới hạn thứ hai — về độ rung hạn chế do điều kiện sinh hoạt, lao động của con người, điều kiện hoạt động bình thường của các thiết bị máy móc có trên công trình, xác định miền cho phép Q_2 và mặt giới hạn $G_2 \in V$. Để đánh giá khả năng làm việc (độ tin cậy) của hệ, đã sử dụng hai phương pháp: (1) — từ mức cho phép của các chỉ tiêu chất lượng tương ứng với từng miền, tìm xác suất vượt khỏi mặt giới hạn của các vector chất lượng (v); từ đó xác định độ tin cậy, mức tin cậy và xác suất từ chối tính toán của toàn hệ, khả năng làm việc của công trình được đánh giá qua bất đẳng thức đối chiếu giữa xác suất từ chối tính toán và xác suất từ chối tiêu chuẩn:

$$Q_{tt} = 1 - P \{v_1 \in G_1, v_2 \in G_2\} = 1 - P_{c1}P_{c2} \leq [Q]. \quad (5)$$

(2) — từ số chuẩn quy định nào đó u_0 xác định trạng thái

tính toán tương ứng với các miền chất lượng của hệ ; khả năng làm việc của hệ được kiểm tra theo bất đẳng thức :

$$Z_{\text{tt}} = \langle Z \rangle \pm u_0 \sigma_z \leq [Z] \quad (6)$$

Chương VI — Vận dụng các kết quả ở trên để xây dựng cách tính các công trình cao theo mô hình xác suất, trên cơ sở coi tải trọng gió là quá trình ngẫu nhiên dừng và chuẩn. Các kiến nghị về cách tính được thể hiện qua một bài toán cụ thể : Tính công trình trụ vò tuyến diện cao 201,50m đặt ở vùng Mátscova. Công trình này đã được tính toán đầy đủ theo quy phạm, trong tài liệu chuyên khảo : « Nguyên lý tính toán tháp trụ vò tuyến diện » của phó tiến sĩ K.H.K.T Nguyễn-văn-Yên (Bộ môn công trình Thép, Đ.H.X.D). Phần bổ sung về số liệu gió, đã sử dụng các công thức thực nghiệm về phổ năng lượng của mạch động vận tốc gió theo M.F. Bastein và A.G. Davenport. Đây là trường hợp riêng của hệ thanh trục giao — hệ có dạng một cấu kiện cơ bản. Phần lớn các công thức đã thiết lập ở các chương trên được áp dụng bằng số qua bài toán này. Để giải bài toán, đã lập chương trình tổng quát theo ngôn ngữ Algol-60 và ngôn ngữ máy (hơn 3000 lệnh). Quá trình tính toán, chủ yếu thực hiện trên các máy MINSK — 22 và MINSK — 32. Các kết quả chính thu được :

- Các lần số (dầu) của dao động riêng và các thông số chuyển vị, nội lực tương ứng ;
- Phương sai và chuẩn của chuyển vị và nội lực của hệ ;
- Kỳ vọng toán của chuyển vị và nội lực ;
- Giá trị tính toán của chuyển vị và nội lực ;

— Xét tốc độ hội tụ của chuỗi các hàm riêng để tính ma trận mật độ và ma trận phương sai của phản lực ;

— Tính giá trị hàm phổ năng lượng của mạch động vận tốc gió và của chuyển vị tại một điểm đặc trưng của hệ.

— Phương sai và chuẩn của các đặc trưng về độ rung của hệ.

Dựa trên các kết quả thu được từ MTĐT, đã tiến hành đánh giá khả năng làm việc của hệ theo hai phương pháp như đã xây dựng ở chương V. Ở đây, lấy số chuẩn $u_0 = 2,5$ (theo quy phạm). Các giá trị tính toán của chuyển vị và nội lực theo phương pháp CHKC thống kê với phổ gió của Barstein và Davenport sai lệch nhau không quá 5%, và đều nhỏ hơn so với kết quả tính theo quy phạm khoảng 10 - 30%. Cuối chương, đã nêu những nhận xét bổ ích rút ra qua bài toán giải bằng số ở trên.

KẾT LUẬN

1. Luận án đã sử dụng hai cách tính hàm chuyển, trong đó đều dùng giả thiết phức về ma sát nội của E.X. Xorôkin với các chú ý cần thiết đến đặc điểm «dạng phức» của giả thiết. Cách tính thứ nhất (chương III) cho kết quả chính xác và tổng quát, cách tính thứ hai (chương IV) cho kết quả gần đúng, sử dụng để tính bằng số rất thuận tiện, nên có ý nghĩa thực hành rõ rệt. Trong cách tính này, tốc độ hội tụ của chuỗi (để tính mật độ phổ, phương sai của phản lực) là khá nhanh, khi hàm phổ của tải trọng có dải hẹp và phổ các tần số dao động riêng của hệ đủ thưa.

2. Trên cơ sở mở rộng các khái niệm về *siêu phần tử* trong «phương pháp phần tử hữu hạn» vào phương pháp ma trận chuyển tiếp, và nhận dạng kết cấu hệ thanh trực giao, đã chọn siêu phần tử thích hợp, cho phép xây dựng thuật toán tổng quát để xác định hàm chuyển phần lực, cũng như xác định chuyển vị và nội lực nói chung của hệ thanh trực giao, có kể tới biến dạng dọc của các thanh ngang.

3. Thuật toán trên của phương pháp ma trận chuyển tiếp có thể sử dụng cho một *lớp khá rộng các bài toán CHKC*: Kết cấu hệ thanh trực giao dạng khung nhiều tầng nhiều nhịp có nút là liên kết cứng, mềm hoặc khớp, có lệch tầng hoặc không, nút có chuyển vị ngang hoặc không; hệ thanh dạng cấu kiện cơ bản (như kết cấu tháp, trụ) là trường hợp riêng của thuật toán; bài toán xét có thể là dao động cưỡng bức, dao động riêng, hoặc tĩnh.

4. *Thuật toán có các ưu điểm*: tổng quát, đơn giản (dễ lập chương trình trên MTĐT), số ẩn phải giải ít hơn so với các phương pháp chính xác khác của CHKC, tiết kiệm bộ nhớ.

5. Từ liên hệ đồ thị giữa các hàm phổ năng lượng của quá trình vào và ra, cho phép phán đoán khả năng làm việc của hệ, để có thể *điều chỉnh độ cứng của hệ*, tức là đặt đỉnh của hàm mật độ phổ đối với quá trình ra sao cho hệ làm việc có hiệu quả nhất.

6. Từ tính toán bằng số ở chương VI, cũng phục quan sát được từ thực tế cho thấy cần phải xét đến các *điều kiện hạn chế rung động đối với các công trình chịu tải*

trong ngẫu nhiên (ảnh hưởng đến tiện nghi sinh hoạt, cơ thể con người, cũng như đến sự hoạt động bình thường của máy móc thiết bị) khi xác định độ tin cậy của công trình.

7. Đề có thể đưa mô hình xác suất vào thực tế tính toán và thiết kế các công trình cao dưới tác dụng của tải trọng gió ở nước ta, cần xây dựng đầy đủ thông tin về gió theo yêu cầu của bài toán CHKC thống kê; mặt khác phải xác định được các số chuẩn tính toán, hoặc độ tin cậy tiêu chuẩn cho các loại công trình, cũng như xây dựng các tiêu chuẩn hạn chế rung động đối với cơ thể con người và thiết bị máy móc trong điều kiện của nước ta. Trên cơ sở đó có thể lập chương trình tổng quát để tự động hóa tính toán các loại công trình cao.